

## MOTOR TORQUE CORRECTION DEVICE AND MOTOR DRIVING DEVICE PROVIDED WITH THE SAME

**Publication number:** JP11299277

**Publication date:** 1999-10-29

**Inventor:** NAKAMURA YUJI

**Applicant:** YASKAWA ELECTRIC CORP

**Classification:**

- International: G01L3/00; H02P5/00; H02P29/00; G01L3/00;  
H02P5/00; H02P29/00; (IPC1-7): H02P5/00; G01L3/00

- european:

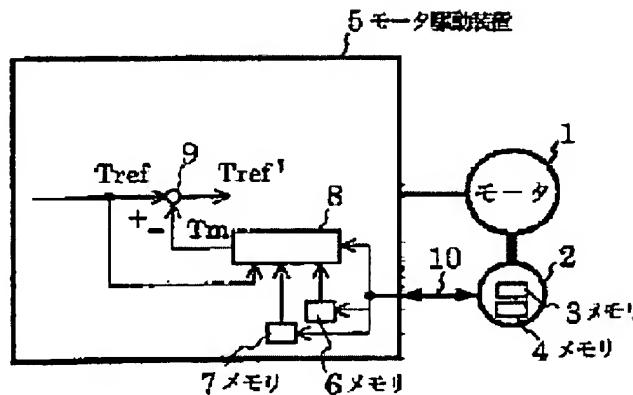
**Application number:** JP19980102816 19980414

**Priority number(s):** JP19980102816 19980414

[Report a data error here](#)

### Abstract of JP11299277

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a driving device provided with a torque correction device reducing the effects of torque ripples which a motor generates. **SOLUTION:** Storage means 3 and 4 storing and outputting two types of torque ripple data  $T_{cg}(\theta n)$  and  $T_{rp}(\theta n)$ , corresponding to a motor angle ( $0 \text{ degree} \leq \theta n < 360 \text{ degrees}$ ) for one rotation are installed in a motor 1. Storage means 6 and 7 inputting and storing two types of torque ripple data outputted from the motor, a torque correction device 8, obtaining a torque correction signal  $T_m$  by  $T_m = G_1.T_{cg}(\theta p) + G_2.T_{rp}(\theta p).T_{ref}$  (where  $G_1$  and  $G_2$  are gains,  $\theta p$  is the prediction value of a motor angle, when the torque correction signal  $T_m$  is actually reflected on torque and  $T_{ref}$  is a torque command) from an angle signal inputted from an angle detector 2 and torque ripple data and a means 9 subtracting the torque correction signal  $T_m$  from a torque command  $T_{ref}$  are installed in a driving device 5.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-299277

(43)公開日 平成11年(1999)10月29日

(51)Int.Cl.<sup>8</sup>  
H 0 2 P 5/00  
G 0 1 L 3/00

識別記号

F I  
H 0 2 P 5/00  
G 0 1 L 3/00

K  
R  
Z

審査請求 未請求 請求項の数21 ○L (全 11 頁)

(21)出願番号 特願平10-102816

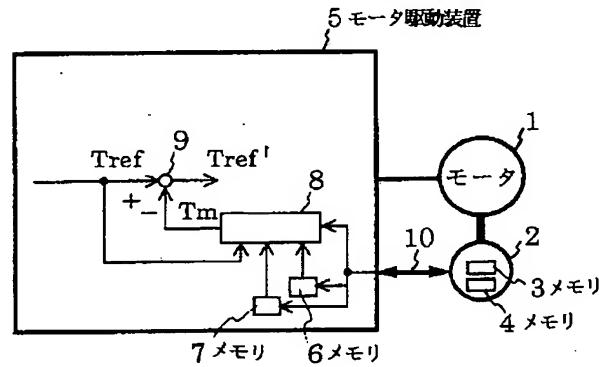
(22)出願日 平成10年(1998)4月14日

(71)出願人 000006622  
株式会社安川電機  
福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号  
(72)発明者 中村 裕司  
福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号  
株式会社安川電機内  
(74)代理人 弁理士 萩野 平 (外4名)

(54)【発明の名称】 モータトルク補正装置と該装置を備えたモータ駆動装置

(57)【要約】

【課題】モータが発生するトルクリップルの影響を低減するトルク補正装置を備えた駆動装置を提供する。  
【解決手段】1回転分のモータ角度(0度≤θn<360度)に対応した2種類のトルクリップルデータTcg(θn)とTrp(θn)を記憶し出力する記憶手段3,4をモータ1に設け、駆動装置5には、モータから出力される2種類のトルクリップルデータを入力し記憶する記憶手段6,7と、角度検出器2から入力した角度信号と前記トルクリップルデータとよりトルク補正信号Tmを、Tm=G1·Tcg(θp)+G2·Trp(θp)·Tref(ただしG1,G2はゲイン、θpはトルク補正信号Tmが実際にトルクに反映する時刻におけるモータ角度の予測値、Trefはトルク指令である。)により求めるトルク補正装置8と、トルク指令Trefよりトルク補正信号Tmを減算する手段9と、を設けた。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 記憶装置を有するトルクリップル測定装置において、

トルクセンサの測定したモータ軸にかかるトルクの測定信号と、角度検出器の検出したモータ角度信号と、から、1回転分のモータ角度（0度≤θn < 360度、n=1, 2, ..., N）に対応したN個のトルクリップルデータを求めて、前記記憶装置に記憶することを特徴とするトルクリップル測定装置。

【請求項2】 角度検出器を備えたモータにおいて、請求項1記載のトルクリップル測定装置の出力であるトルクリップルデータを記憶し出力する記憶手段を有することを特徴とするモータ。

【請求項3】 請求項2記載のモータにおいて、前記記憶手段は前記角度検出器内のメモリを用いることを特徴とするモータ。

【請求項4】 モータ軸にかかるトルクの測定信号とモータ角度検出器から出力する角度信号とから求められた1回転分のモータ角度（0度≤θn < 360度、n=1, 2, ..., N）に対応したN個のトルクリップルデータと、角度検出器からの角度信号と、からトルク補正信号を求ることを特徴とするモータトルク補正装置。

【請求項5】 請求項4記載のモータトルク補正装置において、

トルクリップルデータを請求項2記載のモータの記憶装置から得ることを特徴とするモータトルク補正装置。

【請求項6】 請求項4又は5記載のモータトルク補正装置において、

トルク補正信号Tmを次式で求めることを特徴とするモータトルク補正装置。

$$T_m = G \cdot T_{cg} (\theta_p)$$

ここで、Gはゲイン、

$\theta_p$ はトルク補正信号Tmが実際にトルクに反映する時刻におけるモータ角度の予測値、

【請求項7】 請求項6記載のモータトルク補正装置において、

前記モータ角度の予測値 $\theta_p$ を次式で求めることを特徴とするモータトルク補正装置。

$$\theta_p = \theta(t) + (d\theta/dt) \cdot dt_m$$

ここで、 $\theta(t)$ は検出時刻tにおけるモータ角度、 $d\theta/dt$ は角速度、

$dt_m$ は検出時刻tよりトルク補正信号が実際のトルクに反映する時刻までの時間。

【請求項8】 請求項4又は5記載のモータトルク補正装置において、

トルク補正信号Tmを次式で求めることを特徴とするモータトルク補正装置。

$$T_m = G \cdot [w_1 T_{cg} (\theta_k) + w_2 T_{cg} (\theta_{k+1})] / (w_1 + w_2)$$

ここで、Gはゲイン、

$\theta_k, \theta_{k+1}$ は前記トルクリップルデータのモータ角度θ

nの中で、

$\theta_k < \theta_p < \theta_{k+1}$ となるモータ角度、 $w_1, w_2$ は補間係数。

【請求項9】 請求項4又は5記載のモータトルク補正装置において、

前記トルクリップルデータが固定値型トルクリップルデータ $T_{cg} (\theta_n)$ および発生トルクに比例する比例トルクリップルデータ $T_{rp} (\theta_n)$ であり、この2種類のトルクリップルデータと、角度検出器からの角度信号と、からトルク補正信号 $T_m$ を次式で求めることを特徴とするモータトルク補正装置。

$$T_m = G_1 \cdot T_{cg} (\theta_p) + G_2 \cdot T_{rp} (\theta_p) \cdot T_{ref}$$

ここで、 $G_1, G_2$ はゲイン、

$\theta_p$ はトルク補正信号Tmが実際にトルクに反映する時刻におけるモータ角度の予測値、 $T_{ref}$ はトルク指令。

【請求項10】 モータにトルク指令を与えるモータ駆動装置において、

トルクリップルデータを入力し記憶する記憶手段と、請求項4~9のいずれか1項記載のモータトルク補正装置と、

該モータトルク補正装置の出力をトルク指令から減ずる手段と、を有することを特徴とするモータ駆動装置。

【請求項11】 請求項10記載のモータ駆動装置において、

前記記憶手段が、固定値型トルクリップルデータ $T_{cg} (\theta_n)$ 用の記憶手段と、発生トルクに比例する比例トルクリップルデータ $T_{rp} (\theta_n)$ 用の記憶手段とから成ることを特徴とするモータ駆動装置。

【請求項12】 請求項10又は11記載のモータ駆動装置において、

前記モータ駆動装置へのトルクリップルデータの入力は請求項2又は3記載のモータの記憶手段から入力することを特徴とするモータ駆動装置。

【請求項13】 請求項12記載のモータ駆動装置において、

前記モータ駆動装置へのトルクリップルデータの入力は角度信号を伝送する手段を用いて行なわれることを特徴とするモータ駆動装置。

【請求項14】 請求項12又は13記載のモータ駆動装置において、

前記モータ駆動装置へのトルクリップルデータの入力は、前記モータと前記モータ駆動装置とを接続し最初に電源を投入する際の初回のみ実行することを特徴とするモータ駆動装置。

【請求項15】 請求項6又は9記載のモータトルク補正装置において、

サンプリング周期をTsとして、サンプリング時刻 i · Tsにおける $k ( \geq 0 )$ サンプリング過去のモータ角度 $\theta (i-k)$ を用いて、前記モータ角度の予測値 $\theta_p$ を次式で求める

ことを特徴とするモータトルク補正装置。

$$\theta_p = \theta^*(i+M) \text{ あるいは } \theta_p = \theta^*(i+M-1)$$

ここで、 $\theta^*(i+m)$  はトルク指令、速度指令、位置指令のいずれかを入力  $u$  と考え、該入力  $u$  又は増分値  $\Delta u$  からモータ角度  $\theta$  又はその増分値  $\Delta \theta$  までの離散時間伝達関数モデルを用いて予測した、サンプリング時刻  $i \cdot Ts$  よりも  $m$  サンプリング先の時刻  $(i+m) \cdot Ts$  におけるモータ角度の予測値。

$\Delta$  はサンプリング周期  $Ts$  間の増分値。

$M$  は  $M-1 \leq dtm' / Ts \leq M$  となる整数。

$dtm'$  はサンプリング時刻  $i \cdot Ts$  よりトルク補正信号が実際のトルクに反映するまでの時間。

【請求項16】 請求項6又は9記載のモータトルク補正装置において、

前記モータ角度の予測値  $\theta_p$  を次式で求めることを特徴とするモータトルク補正装置。

$$\theta_p = \{s1 \cdot \theta^*(i+M-1) + s2 \cdot \theta^*(i+M)\} / (s1+s2)$$

ここで、 $s1, s2$  は補間係数。

$\theta^*(i+m)$  はトルク指令、速度指令、位置指令のいずれかを入力  $u$  と考え、該入力  $u$  又は増分値  $\Delta u$  からモータ角度  $\theta$  又はその増分値  $\Delta \theta$  までの離散時間伝達関数モデルを用いて予測した、サンプリング時刻  $i \cdot Ts$  よりも  $m$  サンプリング先の時刻  $(i+m) \cdot Ts$  におけるモータ角度の予測値。

$\Delta$  はサンプリング周期  $Ts$  間の増分値。

$M$  は  $M-1 \leq dtm' / Ts \leq M$  となる整数。

$dtm'$  はサンプリング時刻  $i \cdot Ts$  よりトルク補正信号が実際のトルクに反映するまでの時間。

【請求項17】 請求項16記載のモータトルク補正装置において、

特に  $k=0$ かつ  $M=1$  である時は、前記モータ角度の予測値  $\theta_p$  を次式で求めることを特徴とするモータトルク補正装置。

$$\theta_p = \{s1 \cdot \theta(i) + s2 \cdot \theta^*(i+1)\} / (s1+s2)$$

【請求項18】 請求項15～17のいずれか1項記載のモータトルク補正装置において、前記  $m$  サンプリング先のモータ角度予測値  $\theta^*(i+m)$  を次式で求めることを特徴とするモータトルク補正装置。

【数1】

$$\theta^*(i+m) = \sum_{n=K}^{Na+K} A_{mn} \theta(i-n) + \sum_{n=1}^{Nb+K+m} B_{mn} u(i+m-n)$$

あるいは、

【数2】

$$\theta^*(i+m) = \sum_{n=K}^{Na+K} A_{mn} \theta(i-n) + \sum_{n=0}^{Nb+K} B_{mn} u(i-n)$$

ここで、 $A_{mn}, B_{mn}$  は、入力  $u$  からモータ角度  $\theta$  までの離散時間伝達関数モデルにより定まる係数。

【請求項19】 請求項15～17のいずれか1項記載のモータトルク補正装置において、

前記  $m$  サンプリング先のモータ角度予測値  $\theta^*(i+m)$  を

次式で求めることを特徴とするモータトルク補正装置。

【数3】

$$\theta^*(i+m) = \theta(i-K) + \sum_{s=-K+1}^m \Delta \theta^*(i+s)$$

と、

【数4】

$$\Delta \theta^*(i+s) = \sum_{n=K}^{Na+K-1} A_{sn} \Delta \theta(i-n) + \sum_{n=1}^{Nb+K+s-1} B_{sn} \Delta u(i+s-n)$$

あるいは、

【数5】

$$\Delta \theta^*(i+s) = \sum_{n=K}^{Na+K-1} A_{sn} \Delta \theta(i-n) + \sum_{n=0}^{Nb+K-1} B_{sn} \Delta u(i-n)$$

ここで、 $A_{sn}, B_{sn}$  は、入力の増分値  $\Delta u$  からモータ角度の増分値  $\Delta \theta$  までの離散時間伝達関数モデルにより定まる係数。

【請求項20】 請求項15～17のいずれか1項記載のモータトルク補正装置において、

前記  $m$  サンプリング先のモータ角度予測値  $\theta^*(i+m)$  を次式で求めることを特徴とするモータトルク補正装置。

【数6】

$$\theta^*(i+m) = \theta(i-K) + \sum_{s=-K+1}^m \Delta \theta^*(i+s)$$

と、

【数7】

$$\Delta \theta^*(i+s) = \sum_{n=K}^{Na+K-1} A_{sn} \Delta \theta(i-n) + \sum_{n=1}^{Nb+K+s-1} B_{sn} u(i+s-n)$$

あるいは、

【数8】

$$\Delta \theta^*(i+s) = \sum_{n=K}^{Na+K-1} A_{sn} \Delta \theta(i-n) + \sum_{n=0}^{Nb+K-1} B_{sn} u(i-n)$$

ここで、 $A_{sn}, B_{sn}$  は、入力  $u$  からモータ角度の増分値  $\Delta \theta$  までの離散時間伝達関数モデルにより定まる係数。

【請求項21】 請求項4又は5記載のモータトルク補正装置において、

前記トルクリップルデータが固定値型トルクリップルデータ  $T_{cg}(\theta_n)$  および発生トルクに比例する比例トルクリップルデータ  $T_{rp}(\theta_n)$  であり、この2種類のトルクリップルデータと、角度検出器からの角度信号と、からトルク補正信号  $T_m$  を次式で求めることを特徴とするモータトルク補正装置。

$$T_m = G1 \cdot \{w1 T_{cg}(\theta_k) + w2 T_{cg}(\theta_{k+1})\} / (w1+w2) + G2 \cdot \{w1 T_{rp}(\theta_k) + w2 T_{rp}(\theta_{k+1})\} \cdot T_{ref} / (w1+w2)$$

ここで、 $G1, G2$  はゲイン、 $\theta_k, \theta_{k+1}$  は前記トルクリップルデータのモータ角度  $\theta_n$  の中で、

$\theta_k < \theta_p < \theta_{k+1}$  となるモータ角度、

$w1, w2$  は補間係数、

$T_{ref}$  はトルク指令。

【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、モータの角度に依存して発生するトルクリップルを補正するモータトルク補正装置および該装置を備えたモータ駆動装置等に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来より、モータが固定子と回転子との相対角度に依存して発生するトルクリップルとしては、コギングトルクリップルのようにモータの発生トルクの大きさによらず固定値であるものと、発生トルクに比例するものとがある。こうしたトルクリップルは、サーボモータの速度ムラや位置偏差の要因ともなり、NC装置においては送り軸に送りムラが発生したり、削面精度を低下させる原因となり、位置決め制御では整定時の応答が変化して整定時間が一定にならないといった状態を引き起こす。従来のサーボ制御では外乱トルクとして対応して、速度ループや位置ループのループゲインを上げてリップルの影響を低減しようとする方法が試みられてきたが、ゲインを上昇させ過ぎると機械共振を引き起こす危険があり、低減効果にも限界があるので、最近では、例えば、特開平7-284286号公報の提案のように、ループゲインを上げないでトルクリップルを低減しようとする方式が種々提案されている。

【0003】図4は従来のトルクリップル補正方式によるモータトルク補正装置の構成図であり、101はNC装置等の制御装置、102はNC装置101から出力されるモータへの指令等を受信し、デジタルサーボ回路のCPUに受け渡すための共有メモリである。103はデジタルサーボ回路でCPU、ROM、RAM等で構成され、モータの位置、速度、電流制御やトルクリップルの補正演算を行い、トルク指令を補正して補正トルクを出力する。104はインバータ等で構成するサーボアンプ、105はサーボモータ、106はモータ105の回転位置及び速度を検出して、デジタルサーボ回路103へ位置、速度をフィードバックする位置・速度検出器である。ここではトルクリップルT1をモータの電流Iと角度θよりT1(I, θ)として表し、リップル補正前のモータの発生するトルク値T0、

$$T0 = Kt \cdot Tc + T1(\theta, I)$$

に対し、デジタルサーボ回路103はトルクリップルを補正するため、トルクコマンドTcを補正する。トルクコマンドTcは補正されて補正トルクコマンドTc'となる。こうして補正を行った後のトルク値T0は、

$$T0 = Kt \cdot Tc' + T1(\theta, I)$$

となり、補正トルクコマンドTc'は補正項をAとする

$$Tc' = Tc \cdot (1 + A)$$

と表すことができる。デジタルサーボ回路103はトルクリップルT1(θ, I)を補正減殺するように、補正項Aを、 $A = -T1(\theta, I) / Kt \cdot Tc$ 、となるよう形成

し、トルクコマンドTcを補正したTc'を出力する。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来例においては、速度ループゲインを上げる方式では無く、トルクリップルの変化に追従してトルク指令を補正するように構成しているので、効果的なトルクリップルの補正が可能となつたが、基本的には位置・速度検出器106からの検出データ等を基に現在のトルクリップルT1の大きさを抽出して、それに対してトルク補正Tc'を出力しているので、現在のトルク補正Tc'が実際のトルクに反映されるまでに時間のずれが生じて、周期的に変化するトルクリップルに対して正確な追従・補正が行われていないという問題があった。そこで、本発明は、トルクリップルをモータの発生トルクに依存しない固定値型のトルクリップルと発生トルクに比例するトルクリップル成分に分解して制御し、出力するトルク補正信号は実際のトルクに反映する時刻のモータ角度を予測してトルクリップルを補正する予測制御を行うことによって、高精度のトルクリップルの抽出・補正を可能とするモータトルク補正装置を提供することを目的としている。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、請求項1記載の発明は、記憶装置を有するトルクリップル測定装置において、トルクセンサの測定したモータ軸にかかるトルクの測定信号と、角度検出器の検出したモータ角度信号と、から、1回転分のモータ角度(0度 ≤ θn < 360度, n=1, 2, ..., N)に対応したN個のトルクリップルデータを求めて、前記記憶装置に記憶することを特徴としている。また、請求項2記載の発明は、角度検出器を備えたモータにおいて、請求項1記載のトルクリップル測定装置の出力であるトルクリップルデータを記憶し出力する記憶手段を有することを特徴としている。そして、請求項3記載のモータの発明は、請求項2記載のモータにおいて、前記記憶手段は前記角度検出器内のメモリを用いることを特徴としている。さらに、請求項4記載の発明は、モータ軸にかかるトルクの測定信号とモータ角度検出器から出力する角度信号とから求められた1回転分のモータ角度(0度 ≤ θn < 360度, n=1, 2, ..., N)に対応したN個のトルクリップルデータと、角度検出器からの角度信号と、からトルク補正信号を求めることが特徴としている。また、請求項5記載の発明は、請求項4記載のモータトルク補正装置において、トルクリップルデータを請求項2記載のモータの記憶装置から得ることを特徴としている。そして、請求項6記載の発明は、請求項4又は5記載のモータトルク補正装置において、トルク補正信号Tmを次式で求めることを特徴としている。すなわち、 $Tm = G \cdot Tcg(\theta_p)$ 、ここで、Gはゲイン、θpはトルク補正信号Tmが実際にトルクに反映する時刻におけるモータ角度の予測値である。また、請求項7記載の発明は、請求項6記

載のモータトルク補正装置において、前記モータ角度の予測値 $\theta_p$ を次式で求めることを特徴としている。すなわち、 $\theta_p = \theta(t) + (d\theta/dt) \cdot dt_m$ 、ここで、 $\theta(t)$ は検出時刻 $t$ におけるモータ角度、 $d\theta/dt$ は角速度、 $dt_m$ は検出時刻 $t$ よりトルク補正信号が実際のトルクに反映する時刻までの時間である。また、請求項8記載の発明は、請求項4又は5記載のモータトルク補正装置において、トルク補正信号 $T_m$ を次式で求めることを特徴としている。すなわち、 $T_m = G \cdot [w_1 T_{cg}(\theta_k) + w_2 T_{cg}(\theta_{k+1})] / (w_1 + w_2)$ 、ここで、 $G$ はゲイン、 $\theta_k, \theta_{k+1}$ は前記トルクリップルデータのモータ角度 $\theta_n$ の中で $\theta_k < \theta_p < \theta_{k+1}$ となるモータ角度、 $w_1, w_2$ は補間係数である。さらに、請求項9記載の発明は、請求項4又は5記載のモータトルク補正装置において、前記トルクリップルデータが固定値型トルクリップルデータ $T_{cg}(\theta_n)$ および発生トルクに比例する比例トルクリップルデータ $T_{rp}(\theta_n)$ であり、この2種類のトルクリップルデータと、角度検出器からの角度信号と、からトルク補正信号 $T_m$ を次式で求めることを特徴としている。すなわち、 $T_m = G_1 \cdot T_{cg}(\theta_p) + G_2 \cdot T_{rp}(\theta_p) \cdot T_{ref}$ 、ここで、 $G_1, G_2$ はゲイン、 $\theta_p$ はトルク補正信号 $T_m$ が実際にトルクに反映する時刻におけるモータ角度の予測値、 $T_{ref}$ はトルク指令である。そして、請求項10記載の発明は、モータにトルク指令を与えるモータ駆動装置において、トルクリップルデータを入力し記憶する記憶手段と、請求項4~9のいずれか1項記載のモータトルク補正装置と、該モータトルク補正装置の出力をトルク指令から減ずる手段と、を有することを特徴としている。また、請求項11記載の発明は、請求項10記載のモータ駆動装置において、前記記憶手段が、固定値型トルクリップルデータ $T_{cg}(\theta_n)$ 用の記憶手段と、発生トルクに比例する比例トルクリップルデータ $T_{rp}(\theta_n)$ 用の記憶手段とから成ることを特徴としている。さらに、請求項12記載の発明は、請求項10又は11記載のモータ駆動装置において、前記モータ駆動装置へのトルクリップルデータの入力は請求項2又は3記載のモータの記憶手段から入力することを特徴としている。そして、請求項13記載の発明は、請求項12記載のモータ駆動装置において、前記モータ駆動装置へのトルクリップルデータの入力は角度信号を伝送する手段を用いて行なわれることを特徴としている。また、請求項14記載の発明は、請求項12又は13記載のモータ駆動装置において、前記モータ駆動装置へのトルクリップルデータの入力は、前記モータと前記モータ駆動装置とを接続し最初に電源を投入する際の初回のみ実行することを特徴としている。請求項15以下に記載の発明についてもそれぞれ特徴があるが、詳細は次の「発明の詳細な説明」の欄で述べることとする。

【0006】このように上記構成によれば、エンコーダ(角度検出器)内に予め記憶されている2種類のトルク

リップルデータ $T_{cg}, T_{rp}$ を用いた予測制御によって、2系統に分解した高精度のトルクリップル補正制御を行い、トルク補正信号の生成出力に際しては、実際にトルクに反映する時刻におけるモータ角度の予測値 $\theta_p$ を予測演算して、トルクリップル補正の時間ズレを無くして正確な補正制御を可能にしている。具体的にはトルク補正信号 $T_m$ を、 $T_m = G_1 \cdot T_{cg}(\theta_p) + G_2 \cdot T_{rp}(\theta_p) \cdot T_{ref}$ 、ただし、 $G_1, G_2$ はゲイン、 $\theta_p$ はトルク補正信号 $T_m$ が実際にトルクに反映する時刻におけるモータ角度の予測値、 $T_{ref}$ はトルク指令、として演算し形成している。上式の第1項は発生トルクに依存しないトルクリップル $T_{cg}$ についての補正項であり、第2項は発生トルクに比例するトルクリップル $T_{rp}$ の補正項である。モータ角度の予測値 $\theta_p$ は、モータ角検出時刻 $t$ におけるモータ角度を $\theta(t)$ 、角速度を $d\theta/dt$ 、 $dt_m$ を検出時刻 $t$ よりトルク補正信号 $T_m$ が実際にトルクに反映する時刻までの時間として、 $\theta_p = \theta(t) + d\theta/dt \cdot dt_m$ で一般的に予測できるが、サンプリング周期を $T_s$ とした場合は、サンプリング時刻 $i \cdot T_s$ において、 $K (\geq 0)$ サンプリング過去のモータ角度 $\theta(i-K)$ をエンコーダより入力する場合、時刻 $i \cdot T_s$ よりも $m$ サンプリング先の時刻 $(i+m) \cdot T_s$ におけるモータ角度の予測値 $\theta^*(i+m)$ を用いて、予測値 $\theta_p$ を $\theta_p = \theta^*(i+m)$ 等と予測演算することによって、高精度のトルクリップル補正制御が可能になる。あるいは、トルクリップルを測定してモータ側へ出力する測定装置と、エンコーダ内にトルクリップルデータを記憶するメモリを搭載したモータと、モータ側から記憶しているトルクリップルデータを読み込み、トルクリップル補正の時間遅れを考慮してトルク補正信号を生成する駆動装置との組合せ構成によって、個々のモータ毎のトルクリップルデータの採取を可能にし、トルクリップルデータの記憶メモリが1個で済む低コストな構成で、モータ角度を予測しトルクリップル補正信号の時間遅れを無くして、正確な補正が可能なトルク補正装置を構成できる。

#### 【0007】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図を参照して説明する。図1は本発明の第1の実施の形態に係るモータトルク補正装置の構成図である。図1において、1はモータであり、角度検出器2が取り付けられている。角度検出器2は、モータの原点角度からの角度 $\theta$ を検出するものであり、絶対値エンコーダにより直接検出しても良いし、相対値エンコーダを用い原点パルスからのカウントにより間接的に検出しても良い。

3、4は、モータ角度に依存してモータ1が発生する2種類のトルクリップルデータがそれぞれ記憶されているメモリであり、1回転分のモータ角度(0度≤ $\theta_n < 360$ 度、 $n=1, 2, \dots, N$ )に対応してそれぞれN個のトルクリップルデータ $T_{cg}(\theta_n), n=1, 2, \dots, N$ と $T_{rp}(\theta_n), n=1, 2, \dots, N$ が記憶されている。ここで

は、コギングトルクなどのモータが発生するトルクに依存しないリップルデータ  $T_{cg}$  がメモリ3に、発生トルクに比例するリップルデータ  $T_{rp}$  がメモリ4に記憶されている。10は角度信号  $\theta$  を伝送する伝送器であり、2種類のトルクリップルデータの伝送器も兼ねている。5はモータ1を駆動する駆動装置である。駆動装置5は、メモリ3と4に記憶されている前記2種類のトルクリップルデータを伝送器10を介して入力しそれぞれメモリ6と7に記憶する。8はトルク補正装置であり、メモリ6と7に記憶されたトルクリップルデータと、角度検出器2から伝送器10を介して入力される角度信号  $\theta$  と、トルク指令  $T_{ref}$  とによりトルク補正信号  $T_m$  を算出し出力する。9はトルク指令  $T_{ref}$  からトルク補正信号  $T_m$  を減ずる減算器であり、その出力  $T_{ref'}$  を補正後のトルク指令としてモータ1が駆動される。その結果、モータ1が発生するトルクリップルの分だけトルク指令が減算されるため、トルクリップルの大幅な低減が可能になる。

【0008】つぎにこのような構成による予測演算を中心動作について説明する。先ず、トルク補正信号  $T_m$  は、メモリ6と7に記憶されたトルクリップルデータ  $T_{cg}(\theta_n)$ ,  $n=1, 2, \dots, N$  と  $T_{rp}(\theta_n)$ ,  $n=1, 2, \dots,$

$$\theta_p = \{s_1 \cdot \theta^*(i+M-1) + s_2 \cdot \theta^*(i+M)\} / (s_1+s_2) \quad (4)$$

で与えることもできる。ここで  $M$  は、 $M-1 \leq dt_m' / Ts \leq M$  となる整数、 $dt_m'$  はサンプリング時刻  $i \cdot Ts$  からトルク補正信号が実際のトルクに反映する時刻までの時間であり、 $s_1, s_2$  は補間係数である。特に  $K=0$ かつ  $M=1$  である時は、

$$\theta_p = \{s_1 \cdot \theta(i) + s_2 \cdot \theta^*(i+1)\} / (s_1+s_2) \quad (5)$$

で与えられる。ここで、 $m$  サンプリング先のモータ角度予測値  $\theta^*(i+m)$  は、以下の(6)か(7)式、

【0009】

【数9】

$$\theta^*(i+m) = \sum_{n=K}^{Na+K} A_{mn} \theta(i-n) + \sum_{n=1}^{Nb+K+m} B_{mn} u(i+m-n) \quad (6)$$

$$\Delta \theta^*(i+s) = \sum_{n=K}^{Na+K-1} A_{sn} \Delta \theta(i-n) + \sum_{n=1}^{Nb+K+s-1} B_{sn} \Delta u(i+s-n) \quad (9)$$

$$\Delta \theta^*(i+s) = \sum_{n=K}^{Na+K-1} A_{sn} \Delta \theta(i-n) + \sum_{n=0}^{Nb+K-1} B_{sn} \Delta u(i-n) \quad (10)$$

$$\Delta \theta^*(i+s) = \sum_{n=K}^{Na+K-1} A_{sn} \Delta \theta(i-n) + \sum_{n=1}^{Nb+K+s-1} B_{sn} u(i+s-n) \quad (11)$$

$$\Delta \theta^*(i+s) = \sum_{n=K}^{Na+K-1} A_{sn} \Delta \theta(i-n) + \sum_{n=0}^{Nb+K-1} B_{sn} u(i-n) \quad (12)$$

【0015】ただし、 $\Delta$ はサンプリング周期  $T_s$  間の増分値を表す。

【0016】以下、(6)～(12)式について説明する。まず、(6)式と(7)式の導出を行う。いまモータのトルク指令、速度指令、あるいは位置指令のいずれかを入力

$N$  とを用いて次の(1)式で与えられる。

$$T_m = G1 \cdot T_{cg}(\theta_p) + G2 \cdot T_{rp}(\theta_p) \cdot T_{ref} \quad (1)$$

ただし、 $G1, G2$  はゲイン、 $\theta_p$  はこのトルク補正信号  $T_m$  が実際のトルクに反映する時刻におけるモータ角度の予測値、 $T_{ref}$  はトルク指令である。又、予測値  $\theta_p$  は次式によって求めることができる。

$$\theta_p = \theta(t) + (d\theta/dt) \cdot dt_m \quad (2)$$

ただし、 $\theta(t)$ 、 $d\theta/dt$  は検出時刻  $t$  におけるモータ角度と角速度であり、角度検出器2から伝送器10を介して入力される角度信号より求めることができる。 $dt_m$  は検出時刻  $t$  からトルク補正信号  $T_m$  が実際のトルクに反映する時刻までの時間である。また駆動装置5においてサンプリング周期が  $T_s$  であり、サンプリング時刻  $i \cdot T_s$  において  $K (\geq 0)$  サンプリング過去のモータ角度  $\theta(i-K)$  を角度検出器2より伝送器10を介して入力する場合には、時刻  $i \cdot T_s$  よりも  $m$  サンプリング先の時刻  $(i+m) \cdot T_s$  におけるモータ角度の予測値  $\theta^*(i+m)$  を用いて、前記予測値  $\theta_p$  を次式

$$\theta_p = \theta^*(i+m) \text{ または } \theta_p = \theta^*(i+M-1) \quad (3)$$

あるいは補間して

【0010】

【数10】

$$\theta^*(i+m) = \sum_{n=K}^{Na+K} A_{mn} \theta(i-n) + \sum_{n=0}^{Nb+K} B_{mn} u(i-n) \quad (7)$$

【0011】あるいは、次式

【0012】

【数11】

$$\theta^*(i+m) = \theta(i-K) + \sum_{s=-K+1}^m \Delta \theta^*(i+s) \quad (8)$$

【0013】と以下4式の何れか1つの式で与える。

【0014】

【数12】

$$\Delta \theta^*(i+s) = \sum_{n=K}^{Na+K-1} A_{sn} \Delta \theta(i-n) + \sum_{n=1}^{Nb+K+s-1} B_{sn} \Delta u(i+s-n) \quad (9)$$

$u$  と考え、この入力  $u(i)$  からモータ角度  $\theta(i)$  までの伝達関数モデルが、 $Gry(z) = (b_1 z^{-1} + \dots + b_{Nb} z^{-Nb}) / (1 - a_1 z^{-1} - \dots - a_{Na} z^{-Na})$  (13) の  $z$  変換による離散時間系で得られているとすると、その出入力モデルは次式となる。

【0017】

【数13】

$$\Delta \theta' (i) = \sum_{n=1}^{Na} a_n \theta' (i-n) + \sum_{n=1}^{Nb} b_n u(i-n) \quad (14)$$

【0018】時刻  $i \cdot Ts$  (以下便宜上時刻  $i$  と呼ぶ) に

すと次式となる。

おいて、時刻  $i-K$  以降のモータ角度のモデル推定値  $\theta'$ 

【0019】

 $(i+m) (m \geq -K+1)$  を、実測値  $\theta (i-n) (n \geq K)$  を用いて表

【数14】

$$\theta' (i+m) = \sum_{n=K}^{Na+K-1} a'_mn \theta (i-n) + \sum_{n=1}^{Nb+K+m-1} b'_mn (i+m-n) \quad m \geq -K+1 \quad (15)$$

【0020】ここで係数  $a'mn, b'mn$  は次式で与えられ

【0021】

る。

$$a' (-K+1)n = a(n-K+1) \quad m=-K+1, \quad K \leq n \leq Na+K-1$$

$$a'mn = \sum_{j=1}^{m+K-1} a_j + a' (m-j)n + a(n+m) \quad m > -K+1, \quad K \leq n \leq Na+K-1$$

$$b' (-K+1)n = b_n \quad m=-K+1, \quad 1 \leq n \leq Nb$$

$$b'mn = \sum_{j=1}^{m+K-1} a_j + b' (m-j)(n-j) + b_n \quad m > -K+1, \quad 1 \leq n \leq Nb+K+m-1 \quad (16)$$

【0022】ただし、 $a_n=0 (n>Na), b_n=0 (n>Nb), b'mn=0 (n<1)$ 

【0023】

そこで時刻  $i-K$  以降のモータ角度を

【数15】

$$\theta^* (i+m) = \theta' (i+m) + \left\{ \theta (i-K) - \sum_{n=1}^{Na} a_n \theta (i-K-n) - \sum_{n=1}^{Nb} b_n u(i-K-n) \right\} \quad (17)$$

$m \geq -K+1$

【0024】で予測すると先の(6)式を得る。ここで係

数  $Amn, Bmn$  は、次式と(16)式で与えられる。

$$AmK=1+a'mK$$

$$n=K$$

$$Amn=a'mn-a(n-K)$$

$$K+1 \leq n \leq Na+K$$

$$Bmn=b'mn-b(n-K-m)$$

$$1 \leq n \leq Nb+K+m \quad (18)$$

ただし、 $b_n=0 (n<1), a'm(Na+K)=0, b'm(Nb+K+m)=0$ また未来の入力を  $u(j)=u(i) (j>i)$  として同様に予測す

【0025】

ると先の(7)式を得、係数  $Amn$  は(16), (18)式で、 $Bmn$ 

【数17】

は次式で与えられる。

$$Bmn=b'mn - b(n-K) \quad 0 \leq n \leq Nb+K$$

$$b' (-K+1)n = b(n-K+1) \quad m=-K+1, \quad 0 \leq n \leq Nb+K-1$$

$$b'm0=0 \quad -K+1 < m \leq 0, \quad n=0$$

$$b'm0=\sum_{j=1}^{m+K-1} a_j + b' (m-j)0 + \sum_{j=1}^m b_j \quad m \geq 1, \quad n=0$$

$$b'mn=\sum_{j=1}^{m+K-1} a_j + b' (m-j)n + b(n+m) \quad m > -K+1, \quad 1 \leq n \leq Nb+K-1 \quad (19)$$

【0026】ただし、 $a_n=0 (n>Na), b_n=0 (n<1)$  および  $n>Nb, b'm(Nb+K)=0$ (i)からモータ角度増分値  $\Delta \theta (i)$  までの離散時間伝達関数モデル次に(9)式と(10)式の導出を行う。いま入力増分値  $\Delta u$ 

$$Gdd(Z)=(b_1 z^{-1} + \dots + b_{Nb} z^{-Nb}) / (1 - a_1 z^{-1} - \dots - a_{Na} z^{-Na}) \quad (20)$$

を用い、時刻  $i$  において、時刻  $i-K$  以降のモータ角度増

分値を、

【0027】

【数18】

$$\Delta \theta^*(i-K+1) = \sum_{n=1}^{Na} a_n \Delta \theta(i-K+1-n) + \sum_{n=1}^{Nb} b_n \Delta u(i-K+1-n) \quad s=-K+1$$

$$\begin{aligned} \Delta \theta^*(i+s) &= \sum_{n=1}^{s+K-1} a_n \Delta \theta^*(i+s-n) + \sum_{n=s+K}^{Na} a_n \Delta \theta(i+s-n) \\ &\quad + \sum_{n=1}^{Nb} b_n u(i+s-n) \quad s>-K+1 \quad (21) \end{aligned}$$

【0028】で予測すると前記(9)式を得る。ここで、係数Asn, Bsnは次式で与えられる。

$$A(-K+1)n=a(n-K-1)$$

【0029】

$$s=-K+1, \quad K \leq n \leq Na+K-1$$

$$Asn=\sum_{j=1}^{s+K-1} a_j \cdot A(s-j)n + a(n+s) \quad s>-K+1, \quad K \leq n \leq Na+K-1$$

$$B(-K+1)n=b_n \quad s=-K+1, \quad 1 \leq n \leq Nb$$

$$Bsn=\sum_{j=1}^{s+K-1} a_j \cdot B(s-j)(n-j) + b_n \quad s>-K+1, \quad 1 \leq n \leq Nb+K+s-1 \quad (22)$$

【0030】ただし、 $a_n=0(n>Na)$ ,  $b_n=0(n>Nb)$ ,  $Bsn=0(n<1)$

与えられる。

また未来の入力を $u(j)=u(i)(j>i)$ として同様に予測する  
と先の(10)式を得、係数Asnは(22)式で、Bsnは次式で

$$B(-K+1)n=b(n-K+1) \quad s=-K+1, \quad 0 \leq n \leq Nb+K-1$$

$$Bsn=\sum_{j=1}^{s+K-1} a_j \cdot B(s-j)n + b(n+s) \quad s>-K+1, \quad 0 \leq n \leq Nb+K-1 \quad (23)$$

【0032】ただし、 $a_n=0(n>Na)$ ,  $b_n=0(n<1)$ および $n>Nb$ ならモータ角度増分値 $\Delta \theta(i)$ までの離散時間伝達関数モデル

さらに、(11)式と(12)式の導出を行う。いま入力 $u(i)$ か

$$Grd(Z)=(b_1 z^{-1} + \dots + b_{Nb} z^{-Nb}) / (1-a_1 z^{-1} - \dots - a_{Na} z^{-Na}) \quad (24)$$

を用い、時刻*i*において、時刻*i-K*以降のモータ角度増分値を、

【0033】

【数21】

$$\Delta \theta^*(i-K+1) = \sum_{n=1}^{Na} a_n \Delta \theta(i-K+1-n) + \sum_{n=1}^{Nb} b_n u(i-K+1-n) \quad s=-K+1$$

$$\begin{aligned} \Delta \theta^*(i+s) &= \sum_{n=1}^{s+K-1} a_n \Delta \theta^*(i+s-n) + \sum_{n=s+K}^{Na} a_n \Delta \theta(i+s-n) \\ &\quad + \sum_{n=1}^{Nb} b_n u(i+s-n) \quad s>-K+1 \quad (25) \end{aligned}$$

【0034】で予測すると先の(11)式を得る。ここで、係数Asn, Bsnは次式で与えられる。

【0035】

【数22】

$$A(-K+1)n = a(n-K+1) \quad s = -K+1, \quad K \leq n \leq Na+K-1$$

$$Asn = \sum_{j=1}^{s+K-1} aj \cdot A(s-j)n + a(n+s) \quad s > -K+1, \quad K \leq n \leq Na+K-1$$

$$B(-K+1)n = bn \quad s = -K+1, \quad 1 \leq n \leq Nb$$

$$Bsn = \sum_{j=1}^{s+K-1} aj \cdot B(s-j)(n-j) + bn \quad s > -K+1, \quad 1 \leq n \leq Nb+K+s-1 \quad (26)$$

【0036】ただし、 $a_n=0(n>Na)$ ,  $b_n=0(n>Nb)$ ,  $Bsn=0(n<1)$

また未来の入力を $u(j)=u(i)(j>i)$ として同様に予測すると先の(12)式を得、係数 $Asn$ は(26)式で、 $Bsn$ は次式で

$$B(-K+1)n = b(n-K+1) \quad s = -K+1, \quad 0 \leq n \leq Nb+K-1$$

$$Bs0 = 0 \quad -K+1 < s \leq 0, \quad n=0$$

$$Bs0 = \sum_{j=1}^{s+K-1} aj \cdot B(s-j)0 + \sum_{j=1}^s bj \quad s \geq 1, \quad n=0$$

$$Bsn = \sum_{j=1}^{s+K-1} aj \cdot B(s-j)n + b(n+s) \quad s > -K+1, \quad 1 \leq n \leq Nb+K-1 \quad (27)$$

【0038】ただし、 $a_n=0(n>Na)$ ,  $b_n=0(n<1)$ および $n>Nb$

また、以上のいずれかの方法で求めた予測値 $\theta_p$ がトルクリップルデータにおける角度 $\theta_n$ ,  $n=1, 2, \dots, N$ と一致しない場合、すなわち、 $n=k$ ,  $k+1$ の角度 $\theta_k$ ,  $\theta_{k+1}$

$$Tm = G1 \cdot \{ w1 Tcg(\theta_k) + w2 Tcg(\theta_{k+1}) \} / (w1+w2) \\ + G2 \cdot \{ w1 Trp(\theta_k) + w2 Trp(\theta_{k+1}) \} \cdot Tref / (w1+w2) \quad (29)$$

$w1, w2$ は補間係数であり、このように補間して求めてよい。このように第1の実施の形態によれば、トルクリップルを $Tcg$ と $Trp$ に分解して低減制御するに際し、モータ角度予測値 $\theta^*(i+m)$ を高レベルの演算によって求めているので正確なトルクリップル補正が行われる。

【0039】次に本発明の第2の実施の形態について図を参照して説明する。図2は本発明に用いられるモータのトルクリップルの測定装置の構成図である。図3は本発明の第2の実施の形態に係るモータトルク補正装置の構成図である。図2において、11はモータであり、角度検出器12が取り付けられている。角度検出器12はメモリ14を内蔵し、モータの原点角度からの角度 $\theta$ を検出するものであり、絶対値エンコーダにより直接検出しても良いし、相対値エンコーダを用い原点パルスからのカウントにより間接的に検出しても良い。13はトルクリップル測定装置であり、モータ軸にかかるトルクの測定信号と角度検出器12から出力される角度信号 $\theta$ とを入力し、1回転分のモータ角度(0度≤ $\theta_n < 360$ 度,  $n=1, 2, \dots, N$ )に対応したN個のトルクリップルデータ $Tcg(\theta_n)$ ,  $n=1, 2, \dots, N$ を求めて、メモリ15に記憶する。モータ軸にかかるトルクの測定方法は多くの方法が考えられるが、本例では連結部19を介して定速回転装置18によりモータ11を一定低速で回転させ、

与えられる。

【0037】

【数23】

$$s = -K+1, \quad 0 \leq n \leq Nb+K-1$$

$$-K+1 < s \leq 0, \quad n=0$$

$$s \geq 1, \quad n=0$$

に対して $\theta_k < \theta_p < \theta_{k+1}$ である場合は、 $\theta_p$ に近い方の値を用いて、例えばそれが $\theta_k$ ならば、トルク補正信号 $Tm$ を、

$$Tm = G1 \cdot Tcg(\theta_k) + G2 \cdot Trp(\theta_k) \cdot Tref \quad (28)$$

としても良いし、

連結部あるいはモータ軸にかかるトルクをトルクセンサ(電磁式等)17で測定する。16は角度信号 $\theta$ を伝送する伝送器であり、1回転分のトルクリップルデータの伝送器も兼ねる。メモリ15に記憶された1回転分のトルクリップルデータは、伝送器16を介して角度検出器12に伝送されメモリ14に記憶される。

【0040】図3は図1の簡易型モータトルク補正装置である。図1のモータトルク補正装置が2種類のトルクリップルデータを扱っているのに対して、図3のものは2種類のトルクリップルデータのうち固定値型トルクリップルデータ $Tcg(\theta_n)$ のみを扱っている。これは図1のモータトルク補正装置と比べれば補正の速度が速いことやメモリが節約できるので低コストとなるといったメリットがあり、モータトルク補正の精度は若干落ちるが実用上は問題ない。特に低速時のトルクリップル補正には十分な低減効果が得られる。図3において、21はモータ11を駆動する駆動装置である。駆動装置21は、電源投入時に角度検出器12のメモリ14に記憶されている1回転分のトルクリップルデータを伝送器16を介して入力しメモリ22に記憶する。23はトルク補正装置であり、メモリ22に記憶されたトルクリップルデータと、角度検出器12から伝送器16を介して入力される角度信号 $\theta$ とによりトルク補正信号 $Tm$ を算出し出力す

る。24はトルク指令Trefからトルク補正信号Tmを減ずる減算器である。その出力Tref'を補正後のトルク指令としてモータが駆動される。その結果、モータが発生するトルクリップルの分だけトルク指令が減算されるためトルクリップルの影響が大幅に減少する。なお、前記メモリ14からメモリ22へのトルクリップルデータの伝送は、電源投入時に毎回行っても良いが、モータと駆動装置とを接続し最初に電源を投入する際の一回目だけ実行し、その後モータあるいは駆動装置を換えない限り行わないようにしても良い。

【0041】つぎにトルク補正信号の算出方法を中心に動作について説明する。トルク補正信号Tmは、メモリ22に記憶されたトルクリップルデータTcg(θn), n=1, 2, ..., Nを用いて次式で与えられる。

$$Tm = G \cdot Tcg(\theta_p) \quad (30)$$

ここで、Gはゲイン、θpはこのトルク補正信号Tmが実

$$Tm = G \cdot \{ w1 Tcg(\theta_k) + w2 Tcg(\theta_{k+1}) \} / (w1+w2) \quad (33)$$

のように補間して求めて良い。このように、第2の実施の形態はメーカ仕様等に関係無く、実測により個々のモータのトルクリップルを測定検出できるので、得られたトルクリップルデータを基に、例えばモータ角度に対応するトルクリップルデータ、その変化率、対応するトルク補正信号とのテーブル等を作成して置いて、トルク補正信号が反映される時点のモータ角度を予測し、テーブルより予測時点のトルク補正信号を読み出して補正するといった補正方法が可能なので、補正信号の時間的遅れによってトルクリップルを増大させる方向に補正してしまうような最悪の事態は起こらず、正確にトルクリップルを減殺低減できるタイミング制御を実施できる。また、第1の実施の形態の場合のようにトルクリップルをTcgとTrpに分解して抑圧はしていないが、リップルの実測と予測制御によって、特に低速時のトルクリップル補正に十分な低減効果が得られ、メモリも節約できるので低コストの補正システムを構成できる。なお、第1の実施の形態においてはメモリに2種類のトルクリップルデータTcg, Trpを予め記憶してスタートしたが、第2の実施の形態のようなリップル測定装置を設けて実測してスタートすることも勿論可能である。

#### 【0042】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によればトルクリップルを2種類のトルクリップルTcgとTrpに分解して高精度の補正制御を行い予測制御によって補正ずれを解消したので、トルクリップルの影響が大幅に低減され、速度リップルおよび追従誤差を生じない速度制御

際のトルクに反映する時刻におけるモータ角度の予測値である。この予測値θpは、次式により求める。

$$\theta_p = \theta(t) + (d\theta/dt) \cdot dt_m \quad (31)$$

ただし、θ(t), (dθ/dt)は検出時刻tにおけるモータ角度と角速度であり、角度検出器12から伝送器16を介して入力される角度信号より求めることができる。dtmは検出時刻tからトルク補正信号Tmが実際のトルクに反映する時刻までの時間である。また予測値θpがトルクリップル測定角度θn, n=1, 2, ..., Nと一致しない場合、すなわち、トルクリップル測定角度θk, θk+1に対してθk < θp < θk+1である場合は、θpに近い方の値を用いて例えばそれがθkならば前記トルク補正信号Tmを、

$$Tm = G \cdot Tcg(\theta_k) \quad (32)$$

としても良いし、

あるいは位置追従制御が可能になるという効果がある。更に、個々のモータのトルクリップルデータを実測で採取できるようにして、予測制御により正確にトルクリップルを抑圧するように構成したので、特に、低速時に速度リップルあるいは追従誤差を生じない速度制御および位置追従制御が可能となる効果がある。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係るモータトルク補正装置の構成図である。

【図2】本発明に係るモータのトルクリップルの測定装置の構成図である。

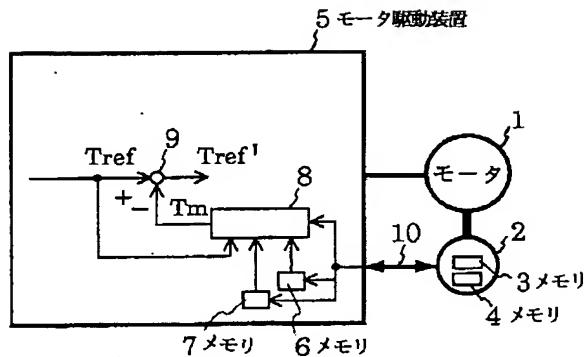
【図3】本発明の第2の実施の形態に係るモータトルク補正装置の構成図である。

【図4】従来のモータトルク補正装置の構成図である。

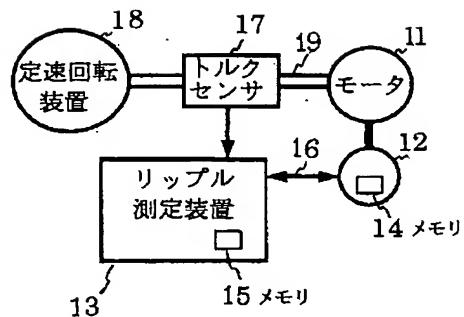
#### 【符号の説明】

- 1、11 モータ
- 2、12 角度検出器
- 3、4、6、7、14、15、22 メモリ
- 5、21 モータ駆動装置
- 8、23 トルク補正装置
- 9、24 減算器
- 10、16 信号伝送器
- 13 リップル測定装置
- 17 トルクセンサ
- 18 定速回転装置
- 19 連結部

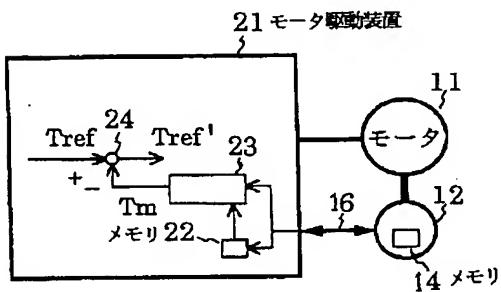
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

